

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
25. August 2005 (25.08.2005)

PCT

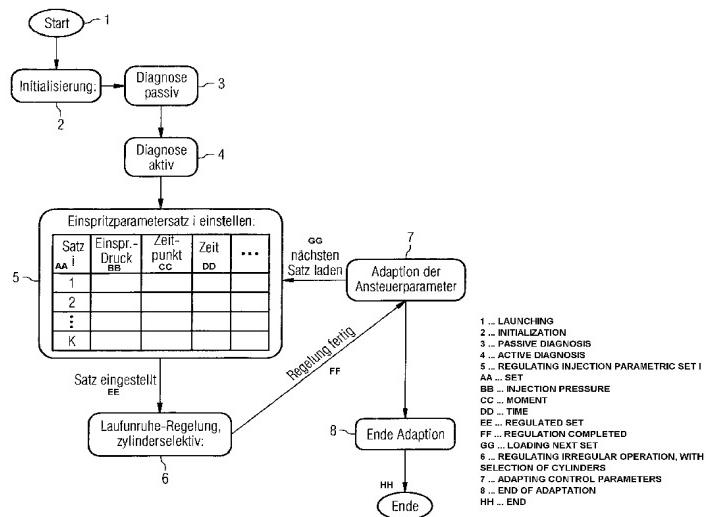
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/078263 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **F02D 41/34**, 41/14
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/050428
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
1. Februar 2005 (01.02.2005)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 006 554.3  
10. Februar 2004 (10.02.2004) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DIETL, Roland** [DE/DE]; Helfrichstr. 10, 94315 Straubing (DE). **RABL, Hans, Peter** [DE/DE]; Hallstattstr. 39, 93309 Kelheim (DE). **RADECZKY, Janos** [HU/DE]; Am Osthang 7, 93173 Wenzenbach (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR SYNCHRONIZING CYLINDERS IN TERMS OF QUANTITIES OF FUEL INJECTION IN A HEAT ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ZYLINDERGLEICHSTELLUNG BEZÜGLICH DER KRAFTSTOFF-EINSPIRZMENGEN BEI EINER BRENNKRAFTMASCHINE



(57) Abstract: The invention concerns the adaption (4, 5, 6, 7) of differences in injected quantities within high operating ranges, said differences being based on an injection parameter and being determined by regulating an irregular operation in an operating point within the lower operating ranges. The invention is characterized in that the injection parameter which determines the differences in injected quantities in the lower operating point is set on a value different from the normal operating value in this point. The dynamics of the operating point varying with the corresponding parametric value of injection is limited during adaption (4, 5, 6, 7)

(57) Zusammenfassung: Zur Adaption (4, 5, 6, 7) der an einem Betriebspunkt im unteren Drehzahlbereich mittels einer Laufunruhe-Regelung bestimmten, von einem Einspritzparameter abhängigen, Einspritzmengenunterschiede an höhere Betriebsbereiche wird vorgeschlagen, den Einspritzparameter zur Bestimmung der Einspritzmengenunterschiede

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/078263 A1



AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,  
PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Beschreibung

### Verfahren zur Zylindergleichstellung bezüglich der Kraftstoff-Einspritzmengen bei einer Brennkraftmaschine

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gleichstellung der Unterschiede in der Einspritzmenge zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine, bei dem die Einspritzmengenunterschiede, die an einem Betriebspunkt im unteren Drehzahlbereich bei den dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Einspritzparameterwerten vorliegen, mittels einer zylinderindividuellen Messmethode zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine bestimmt und, dem niedrigen Betriebspunkt zugeordnet, gelernt werden, und bei dem für Betriebsbereiche mit höheren Lasten und Drehzahlen für einen gewählten Einspritzparameter eine Adaption der Einspritzmengenunterschiede durchgeführt wird.

Ein derartiges Verfahren ist bereits aus der DE 197 00 711 A1

20 bekannt.

Bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine ergibt sich bei der Einspritzung von Kraftstoff in die Verbrennungsräume durch Streuungen insbesondere der mechanischen Eigenschaften

25 der Einspritzvorrichtung, beispielsweise der Injektoren für Dieselmotoren mit Common Rail, ein systematischer Fehler. Auf Grund von Fertigungstoleranzen der genannten Komponenten und unterschiedlicher Abnutzung (Alterungserscheinungen) werden bei gleicher Einspritzzeitdauer und ansonsten identischen  
30 Randbedingungen unterschiedliche Kraftstoffmengen der Verbrennung in den einzelnen Zylindern zugeführt. Die unterschiedlichen Kraftstoffmengen führen zu einer unterschiedlichen Leistungsabgabe der einzelnen Zylinder, was neben einer

Steigerung der Laufunruhe auch zu einer Erhöhung der Menge an schädlichen Abgaskomponenten führt.

Es ist bekannt, die Laufunruhe einer Brennkraftmaschine auszuwerten, um daraus Rückschlüsse auf die Einspritzmenge in den verschiedenen Brennräumen zu ziehen. Hierzu wird z. B. mit einem Drehzahlsensor die Drehbeschleunigung der Kurbelwelle gemessen, wobei die Drehbeschleunigung von der jeweiligen Einspritzmenge abhängt. So verursacht eine große Einspritzmenge in dem betroffenen Verbrennungstakt eine entsprechend große Drehbeschleunigung der Kurbelwelle, wohingegen eine kleine Einspritzmenge nur zu einer entsprechend kleineren Drehbeschleunigung führt. Dieser Laufunruhe wird bei bekannten Brennkraftmaschinen dadurch entgegengewirkt, dass die Einspritzmengen in den einzelnen Brennräumen durch eine geeignete Ansteuerung der verschiedenen Injektoren aneinander angeglichen werden. Die Steuersignale für die verschiedenen Injektoren werden hierbei solange verändert, bis alle Zylinder den gleichen Beitrag zum Drehmoment leisten, was auf eine einheitliche Einspritzmenge in den verschiedenen Brennräumen schließen lässt.

Diese bekannte Laufunruhe-Regelung zur Zylindergleichstellung bezüglich der Einspritzmengen ist in der Anwendung auf niedrige Lastpunkte unter stationären Betriebsbedingungen, beispielsweise Leerlauf, beschränkt. Ein Abbremsen oder Beschleunigen, wie es in höheren Betriebsbereichen typischerweise vorkommt, könnte vom Drehzahlsensor an der Kurbelwelle fälschlicherweise als Einspritzmengenunterschied interpretiert werden.

Die Beschränkung auf einen niedrigen Betriebspunkt zur Ermittlung der Einspritzmengenunterschiede ist jedoch problema-

tisch, da diese mit mindestens einem der Einspritzparameter, z. B. Einspritzdruck und Einspritzzeitdauer, variieren. Die bei einem niedrigen Betriebspunkt ermittelten Einspritzmengenunterschiede können demnach nicht zur Gleichstellung im gesamten Betriebsbereich, z. B. als globale Korrekturfaktoren für einen Ansteuerparameter der Injektoren, verwendet werden, sondern müssen an die bei höheren Betriebspunkten geltenden Einspritzparameter adaptiert werden, was jedoch wegen der erwähnten Voraussetzung stationärer Betriebsbedingungen für die Laufunruhe-Regelung nicht ohne weiteres möglich ist.

In der oben genannten DE 197 00 711 A1, bei der die Einspritzzeitdauer mit zylinderindividuellen Korrekturfaktoren zur Zylindergleichstellung bezüglich der Einspritzmenge beaufschlagt wird, wird vorgeschlagen, die bei einem niedrigen Betriebspunkt bestimmten Korrekturfaktoren durch einen von den Einspritzparametern Druck und Einspritzzeitdauer abhängigen Adoptionsfaktor  $f(p,t)$  an höhere Betriebsbereiche anzupassen. Die Werte dieses Adoptionsfaktors sollen in einem Kennfeld abgelegt sein und diesem zur Adaption der Korrekturfaktoren im Fahrbetrieb entnommen werden. Das bekannte Verfahren vermeidet zwar eine Adaption bei instationären Betriebsbedingungen, jedoch nur mit Hilfe eines vorgegebenen Kennfeldes, dessen Werte den real vorliegenden, mit der Lebensdauer des Fahrzeugs veränderlichen Abhängigkeitsverhältnissen der Einspritzmengenunterschiede nicht optimal gerecht werden können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, das es erlaubt, den tatsächlichen, einspritzparameterabhängigen systematischen Fehler bezüglich der Einspritzmengen im Hinblick auf eine Zylindergleichstellung auf einfache Weise zu ermitteln.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung.

Erfindungsgemäß wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren in dem niedrigen Betriebspunkt der gewählte Einspritzparameter zur Adaption auf einen Wert eingestellt, der vom dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Wert abweicht. Unter dem regulären Fahrbetrieb ist zu verstehen, dass z.B. bei niedrigen Lasten entsprechende niedrige Einspritzdrücke anliegen. Dagegen wird vom regulären Fahrbetrieb abgewichen, wenn z.B. bei niedrigen Lasten hohe Einspritzdrücke anliegen. Dann können für diesen eingestellten Einspritzparameterwert die Einspritzmengenunterschiede mittels der Messung der Laufunruhe bestimmt und als dem jeweiligen Einspritzparameterwert zugeordnete Adaptionswerte gelernt werden. Während dieser Adaption ist darauf zu achten, dass die Dynamik des mit dem jeweils eingestellten Einspritzparameterwert veränderlichen Betriebspunktes begrenzt wird, da sich ein veränderter Einspritzparameterwert sonst in einer vom Fahrer des Fahrzeugs nicht initiierten Abbremsung oder Beschleunigung, jedenfalls in einem neuen Betriebspunkt, also nicht stationären Bedingungen während der Adaption, äußern würde.

Besonders bevorzugt wird eine Ausführungsform des Verfahrens, bei der zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes während der Adaption mindestens ein zweiter Einspritzparameter derart eingestellt wird, dass der Betriebspunkt wenigstens näherungsweise stationär bleibt. Dies lässt sich vorteilhaft dadurch erreichen, dass bei der Adaption an aufeinander folgend höhere Werte des als Einspritzparameter

gewählten Einspritzdruckes zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes jeweils eine entsprechend kürzere Einspritzzeitdauer eingestellt wird. Die zweiten bzw. weiteren Einspritzparameter werden hier also als Hilfsgrößen der-  
5 art gesteuert, dass der Fahrer vom Adoptionsprozess nichts bemerkt. Da einige wenige Kolbenhübe zur Adaption ausreichend sind, kann die Motorsteuerung ohne weiteres auch so einge-  
stellt werden, dass der Fahrer die stationären Bedingungen während der kritischen Adoptionsphase nicht, oder nur bei  
10 Überschreitung einer Schwelle beim vom Fahrer über das Gas angeforderten Wunschleistung, aufheben kann.

Bei allen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergibt sich der Vorteil, dass für die Adaption ein niedriger  
15 Betriebspunkt auswählbar ist, bei dem die höchste Empfindlichkeit und/oder Zuverlässigkeit der Messung der Laufunruhe erreicht wird, obwohl dabei eine korrekte Adaption für hohe Betriebsbereiche vorgenommen wird. Insbesondere kann der niedrige Betriebspunkt im Leerlaufbereich gewählt werden.  
20

Die gelernten Adoptionswerte dienen zur Berechnung von zylinderindividuellen Korrekturfaktoren, mit denen, im Regelfall im Rahmen der Laufunruhe-Regelung während des Adoptionsprozesses und im Fahrbetrieb, ein Ansteuerparameter einer Ein-  
25 spritzvorrichtung der Brennkraftmaschine derart beaufschlagt wird, dass eine Gleichstellung der Einspritzmengen erfolgt.

Als vorteilhaft hat sich dabei herausgestellt, dass die Einspritzvorrichtung für jeden Zylinder durch einen Injektor mit piezoelektrischem Aktor gebildet wird, wobei als Ansteuerpa-  
30 rameter die Ansteuerenergie der Aktoren herangezogen wird. Es kann also insbesondere für verschiedene Werte des Einspritz-

druckes eine Adaption des zur Gleichstellung notwendigen Ak-  
torhubs durchgeführt werden.

Zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine kann die  
5 von den zylinderindividuell unterschiedlichen Einspritzmengen  
verursachte Drehbeschleunigung der Kurbelwelle der Brenn-  
kraftmaschine ausgewertet werden. Die Bestimmung der adap-  
tierten Einspritzmengenunterschiede bzw. der adaptierten Kor-  
rekturfaktoren zur Gleichstellung kann somit auf eine sehr  
10 genaue Messmethodik gestützt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren eröffnet außerdem die Möglich-  
keit, dass am zur Adaption eingestellten stationären Be-  
triebspunkt bei gleichgestellten Einspritzmengen aus einem  
15 gespeicherten Drehmomentenmodell der Brennkraftmaschine der  
Absolutwert der zugehörigen Einspritzmenge ermittelt wird.  
Eine Diagnose des Absolutwertes der Einspritzmenge ist gerade  
für die Diagnose kleiner Einspritzmengen, insbesondere von  
Voreinspritzmengen, die im Bereich von wenigen Milligramm  
20 liegen, entscheidend für die Einhaltung der Grenzen der Ab-  
gas-Emissionen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der schematischen  
Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:  
25  
Figur 1 ein Flussdiagramm zur Durchführung der erfindungsge-  
mäßen Einspritzmengengleichstellung,  
Figur 2 ein Flussdiagramm zur Durchführung der bevorzugten  
Einspritzmengengleichstellung mittels Ladungszeit-  
30 adaption.

Nach Start 1 der Einspritzmengengleichstellung ist im nächs-  
ten Schritt eine Initialisierungsphase 2 vorgesehen, in der

die in einem früheren Diagnosezyklus abgespeicherten Adaptionswerte in ein (nicht dargestelltes) Motorsteuerungsgerät geladen werden. Die Initialisierung eines neuen Diagnosezyklus kann sowohl nach jedem Startvorgang der Brennkraftmaschine, als auch nach bestimmten, vorgebbaren Zeit- oder Wartungsintervallen erfolgen.

Nach dem Ende der Initialisierung 2 erfolgt in einem passiven Diagnoseschritt 3 die Überprüfung der Aktivierungsbedingungen. Dabei geht es darum, abzuwarten bis bevorzugte Betriebsbedingungen für die Adaption an einen regulären oder davon abweichenden Einspritzparameterwert erreicht sind. Dazu gehören beispielsweise die Last, die Drehzahl oder die Kühlmittelttemperatur. Dabei muss die Motorsteuerung gegebenenfalls so umgestellt werden, dass bei der nachfolgenden Adaption die Dynamik der zeitlichen Veränderung des zur Durchführung des Adaptionszyklus ausgesuchten Betriebspunktes begrenzt wird.

Sobald die Aktivierungsbedingungen erfüllt sind, wird der eigentliche, aktive Diagnosezyklus 4 gestartet. Mit den dem Motorbetriebszustand zugehörigen, regulären Einspritzparametern 5 (vgl. Einspritzparametersatz in der Figur 1) wird zunächst eine Laufunruhe-Regelung 6 durchgeführt. Als Ergebnis sind die Einspritzmengen der einzelnen Injektoren der Brennkraftmaschine in dem bevorzugten, niedrigen Betriebspunkt aneinander angeglichen. Zum anderen ist an dieser Stelle des Ablaufs auch die zusätzliche Auswertungsmöglichkeit gegeben, dass am bevorzugten, niedrigen Betriebspunkt mit den vorgegebenen regulären Einspritzparameterwerten auf eine aus dem Drehmomentenmodell bekannte Einspritzmenge geschlossen wird, die gemäß dem erzielten Drehmoment gegeben sein muss.

Danach, im Schritt 7 (Adaption der Ansteuerparameter) werden weitere Einspritzparameter bzw. Einspritzparametersätze geladen und dafür jeweils die Laufunruhe-Regelung durchgeführt mit einer Bestimmung der am eingestellten Wert des gewählten  
5 Einspritzparameters vorliegenden Einspritzmengenunterschiede bzw. mit der Gleichstellung durch entsprechende Korrekturfaktoren für einen Ansteuerparameter. Zur Adaption wird ein geeigneter Ansteuerparameter, wie beispielsweise die den Aktoren zugeführte Energie ausgewählt. Die resultierenden Adaptionswerte werden dem Einspritzparametersatz, also primär den  
10 Einspritzparametern, wie z.B. Einspritzdruck und Einspritzzeitdauer dessen Einfluss auf die Einspritzmengenunterschiede festgehalten werden soll, zugeordnet und abgespeichert, damit sie später, beim Fahrbetrieb mit höheren Lasten und Drehzahlen  
15 und den zugehörigen regulären Werten des gewählten Einspritzparameters, zur direkten Einspritzmengengleichstellung ohne Diagnosezyklus abgerufen werden können. Wenn die Adaption für genügend viele Stützstellen (typischerweise fünf bis zehn), also beispielsweise für alle i=1 bis i=k eingestellten  
20 Einspritzparameterwerte des Druckes durchgeführt wurde, ist das Ende 8 der Adaption bzw. des laufenden Diagnosezyklus erreicht und die gespeicherten Adaptionswerte können im Fahrbetrieb zur Gleichstellung der Einspritzmengen verwendet werden.

25 Es hat sich herausgestellt, dass die von der Einspritzzeitdauer abhängigen unterschiedlichen Einspritzmengen von Injektoren auf einfache Weise dadurch einander angeglichen werden können, dass der Hub der Aktoren verändert wird. Das bedeutet  
30 beispielsweise, dass für verschiedene als Einspritzparameterwerte gewählte Einspritzdrücke eine Adaption des Aktorhubs durchgeführt wird. Andererseits kann die als Injektor-

Stellgröße eingesetzte Ansteuerenergie natürlich auch zur Variation des Einspritzbeginns herangezogen werden.

Bei jedem Diagnosezyklus werden die zuletzt gespeicherten

- 5 Adoptionswerte bzw. Korrekturfaktoren von den neu ermittelten überschrieben, wodurch insbesondere die zwischenzeitlich aufgetretenen Alterungserscheinungen der Einspritzvorrichtung, die eventuell zu veränderten Streuungen bezüglich der Einspritzmengen in die verschiedenen Brennräume führen, Berücksichtigung finden.

Das in Figur 2 dargestellte Verfahren führt in Schritt 11 eine Initialisierung durch. Dabei werden die abgespeicherten Adoptionswerte geladen. In Schritt 12 wird überprüft, ob die

- 15 Aktivierungsbedingungen erfüllt sind. Darunter ist zu verstehen, ob konstante Betriebsbedingungen vorhanden sind, wie z.B. konstante Last, konstante Drehzahl, konstante Temperatur des Kühlmittels, etc. So bleibt die Diagnose wie in Schritt 13 gezeigt so lange passiv, bis in Schritt 12 die Aktivierungsbedingungen erfüllt sind. Dann geht es im Schritt 14 weiter, indem die Einspritzparameter für eine Anfangslade/Entladezeit geladen werden. So kann beispielsweise die Anfangslade/Entladezeit auf 200 µs gesetzt werden. Zu den Einspritzparametern gehören der Einspritzdruck, Injektorenergie,
- 20 Art der Einspritzung, darunter ist zu verstehen, ob es sich um eine Vor-, Haupt-, Nacheinspritzung handelt. Sind diese Parameter einmal geladen, so geht es zur Laufunruheregelung im Schritt 15 weiter. Die Laufunruheregelung erfolgt zylinderselektiv, d.h., dass z.B. für ein Vierzylindermotor zuerst 25 der Zylinder Nr.1 geregelt wird. Sind die Einspritzparameter für den Injektor des Zylinders Nr. 1 eingestellt, so folgt der Injektor des zweiten Zylinders. Die Regelung kann die Lade/Entladezeit, den Einspritzdruck, die Ansteuerungsenergie,
- 30

und die Art der Einspritzung einstellen. Im speziellen kann die Regelung bei einer definierten (festen) Ansteuerdauer (Einspritzzeitdauer) und definiertem (festen) Einspritzdruck durchgeführt werden, wobei die Aktorenergie entsprechend angepasst wird. Bei einem Raildruck von beispielsweise 1500 bar und einer Einspritzmenge von 0,84 mg müssen Ansteuerzeiten von weniger als 160 µs realisiert werden.

Im Schritt 16 wird überprüft ob mit diesen Größen die Laufunruhe unter einem Schwellenwert S liegt. Ist dies nicht der Fall, so muss in Schritt 17 zusätzlich die Ansteuerdauer verändert werden. Dies ist insbesondere bei "schlecht" gefertigten Injektoren erforderlich, die diese kurzen Lade/Entladezeiten schlecht bzw. nicht verkraften. Bei solchen Injektoren und kurzen Entladezeiten ist die eingespritzte Kraftstoffmenge unabhängig von der Aktorenergie. Es stellt sich eine Art "Mengensättigung" ein und die Einspritzmenge kann nicht mehr durch Erhöhen der Aktorenergie verändert werden. Dies bedeutet, dass eine Einspritzadaption in einem definierten Betriebszustand nicht alleine durch Energieanpassung, sondern mittels einer Verlängerung der Ansteuerdauer durchgeführt werden muss, die damit die Einspritzzeitdauer verlängert.

Als Ergebnis einer erfolgreichen Laufunruheregelung nach Schritt 16 sind die Einspritzmengen der einzelnen Injektoren aufeinander angeglichen. Diese Einspritzparameter werden für die zugehörige Lade/Entladezeit  $\tau_i$  abgespeichert (Schritt 18). In Schritt 19, wird überprüft ob die Lade/Entladezeit  $\tau_i$  größer gleich als einem Extremwert ist. Hier beträgt der Extremwert beispielsweise 140 µs. In dem obigen Beispiel liegt der Anfangswert  $\tau_0$  bei 200 µs. Anzumerken ist, dass der Index i hier gleich Null ist. Da die in Schritt 19 aufgestellte Be-

dingung nicht erfüllt ist, geht es in Schritt 20 weiter. Vor dem Laden des nächsten Parametersatzes in Schritt 14 wird zuvor in Schritt 20 die Lade/Entladezeit um 10  $\mu\text{s}$  verringert. Somit beträgt jetzt die Lade/Entladezeit  $\tau_1$  gleich 190  $\mu\text{s}$ . In 5 Schritt 21 wird lediglich der Index um 1 erhöht. Die vorhandenen Einspritzparameter für  $\tau_1$  werden nun in Schritt 14 geladen. Wie bereits oben beschrieben folgen dann die Schritte 15 bis 19. Sind alle Parametersätze für die verschiedenen La- 10 de/Entladezeiten angepasst, kann der konstante Einspritzdruck (z.B. 1500 bar) auf einen neuen anderen konstanten Einspritz- druck (z.B 1400 bar) eingestellt werden. Sobald in Schritt 12 der neue Druck anliegt, wird für jede Lade/Entladezeit von 200 bis 140  $\mu\text{s}$  die Aktorenergie nach den Schritten 14 bis 19 bestimmt. Dies kann für verschiedene Druckwerte durchgeführt 15 werden. Sobald ausreichend viele Messwerte vorhanden sind, endet das Verfahren in Schritt 22. Anzumerken ist, dass die schrittweise Änderung der Lade/Entladezeit um 10  $\mu\text{s}$  in Schritt 20 nur beispielhaft aufgeführt wurde. Für eine feine- re Modellierung, sind durchaus Differenzen von einer La- 20 de/Entladezeit zur nächsten Lade/Entladezeit von 1  $\mu\text{s}$  denk- bar. Diese erfindungsgemäße Diagnose ist sehr schnell durch- führbar, da nur wenige Kolbenhübe ausreichend sind.

Zusammengefasst ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren, 25 dass bei einem bevorzugten, niedrigen Betriebspunkt, bei dem die höchste Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit der Laufunruhe-Regelung besteht, die Diagnose der Einspritzmengenunter- schiede bzw. der Einspritzmenge selbst erfolgt. An diesem Be- triebspunkt erfolgt die Diagnose und Adaption dann auch für 30 Einspritzparameterwerte, die im Fahrbetrieb für andere Be- triebspunkte gelten. Es erfolgt am niedrigen Betriebspunkt also sowohl ein Ausgleich der Einspritzmengenunterschiede

zwischen den einzelnen Injektoren als auch eine Kalibrierung der Einspritzmenge auf die zugehörigen, im Diagnosezyklus künstlich eingestellten Werte des ausgewählten Einspritzparameters, wobei eine unerwünschte Bewegung des Adaptions-

- 5 Betriebspunktes durch die gegenläufige Einstellung anderer Einspritzparameterwerte verhindert bzw. begrenzt wird. Bevorzugt ist eine Einspritzmengengleichstellung durch Energiergelung des Injektor-Ansteuerparameters in Abhängigkeit, insbesondere, vom Einspritzparameter Druck.

10

Optional ist es an dem eingestellten Betriebspunkt auf Grund der Kenntnis des Motorbetriebszustandes (Temperatur von Kühlmittel, aktive Verbraucher) möglich, aus dem Drehmomentenmodell den Absolutwert der Einspritzmenge herauszulesen und et-

- 15 wa für die exakte Kalibrierung des Kennfeldes Einspritzmenge/Einspritzzeitdauer zu verwenden.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Gleichstellung der Unterschiede in der Einspritzmenge zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine,

5 bei dem die Einspritzmengenunterschiede, die an einem Betriebspunkt im unteren Drehzahlbereich bei den dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Einspritzparameterwerten vorliegen, mittels einer zylinderindividuellen Messmethode zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine bestimmt und  
10 dem niedrigen Betriebspunkt zugeordnet werden und bei dem für Betriebsbereiche mit höheren Lasten und Drehzahlen für einen gewählten Einspritzparameter eine Adaption der Einspritzmen-  
genunterschiede durchgeführt wird,  
dadurch gekennzeichnet,

15 dass in dem niedrigen Betriebspunkt der gewählte Einspritzpa-  
rameter zur Adaption (4, 5, 6, 7) auf einen Wert eingestellt wird, der vom dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Wert abweicht, und dass für den eingestellten Wert die Einspritz-  
mengenunterschiede mittels der Messung der Laufunruhe be-  
20 stimmt und als Adoptionswerte gelernt werden, die dem jewei-  
lichen Einspritzparameterwert zugeordnet werden, wobei während der Adaption (4, 5, 6, 7) die Dynamik des mit dem jeweils  
eingestellten Einspritzparameterwert veränderlichen Betriebs-  
punktes begrenzt wird.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes während der Adaption (4, 5, 6, 7) mindestens ein zweiter Einspritzparameter derart eingestellt  
30 wird, dass der Betriebspunkt wenigstens näherungsweise stati-  
onär bleibt.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass bei der Adaption (4, 5, 6, 7) an aufeinander folgend höhere Werte des als Einspritzparameter gewählten Einspritzdruckes zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes jeweils eine entsprechend kürzere  
5 Einspritzzeitdauer eingestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass bei der Adaption (4, 5, 6, 7) an aufeinander folgend niedrigere Werte des als Einspritzparameter gewählten Einspritzdruckes zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes jeweils eine entsprechend längere  
10 Einspritzzeitdauer eingestellt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch ge-

15 kennzeichnet, dass der Einspritzdruck schrittweise um einen bestimmten Betrag verändert wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass für die Adaption (4, 5, 6, 7)  
20 ein niedriger Betriebspunkt ausgewählt wird, bei dem die höchste Empfindlichkeit und/oder Zuverlässigkeit der Messung der Laufunruhe erreicht wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

25 dadurch gekennzeichnet, dass der niedrige Betriebspunkt im Leerlaufbereich gewählt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die gelernten Adoptionswerte zur  
30 Berechnung von zylinderindividuellen Korrekturfaktoren dienen, mit denen ein Ansteuerparameter einer Einspritzvorrichtung der Brennkraftmaschine derart beaufschlagt wird, dass eine Gleichstellung der Einspritzmengen erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzvorrichtung für jeden Zylinder durch einen Injektor mit piezoelektrischem Aktor gebildet wird, wobei als Ansteuerparameter die Ansteuerenergie der Aktoren herangezogen wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass für eine bestimmte Lade-/Entladezeit des Injektors die Aktorenergie entsprechend angepasst wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Lade-/Entladezeit der Haupteinspritzung mit einem Anfangswert ( $\tau_0$ ) getakt und schrittweise auf einen Extremwert verändert wird, wobei bei jedem Schritt die Aktorenergie entsprechend angepasst wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine die von den zylinderindividuell unterschiedlichen Einspritzmengen verursachte Drehbeschleunigung der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine ausgewertet wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass am zur Adaption (4, 5, 6, 7) eingestellten stationären Betriebspunkt bei gleichgestellten Einspritzmengen aus einem gespeicherten Drehmomentenmodell der Brennkraftmaschine der Absolutwert der zugehörigen Einspritzmenge ermittelt wird.

FIG 1

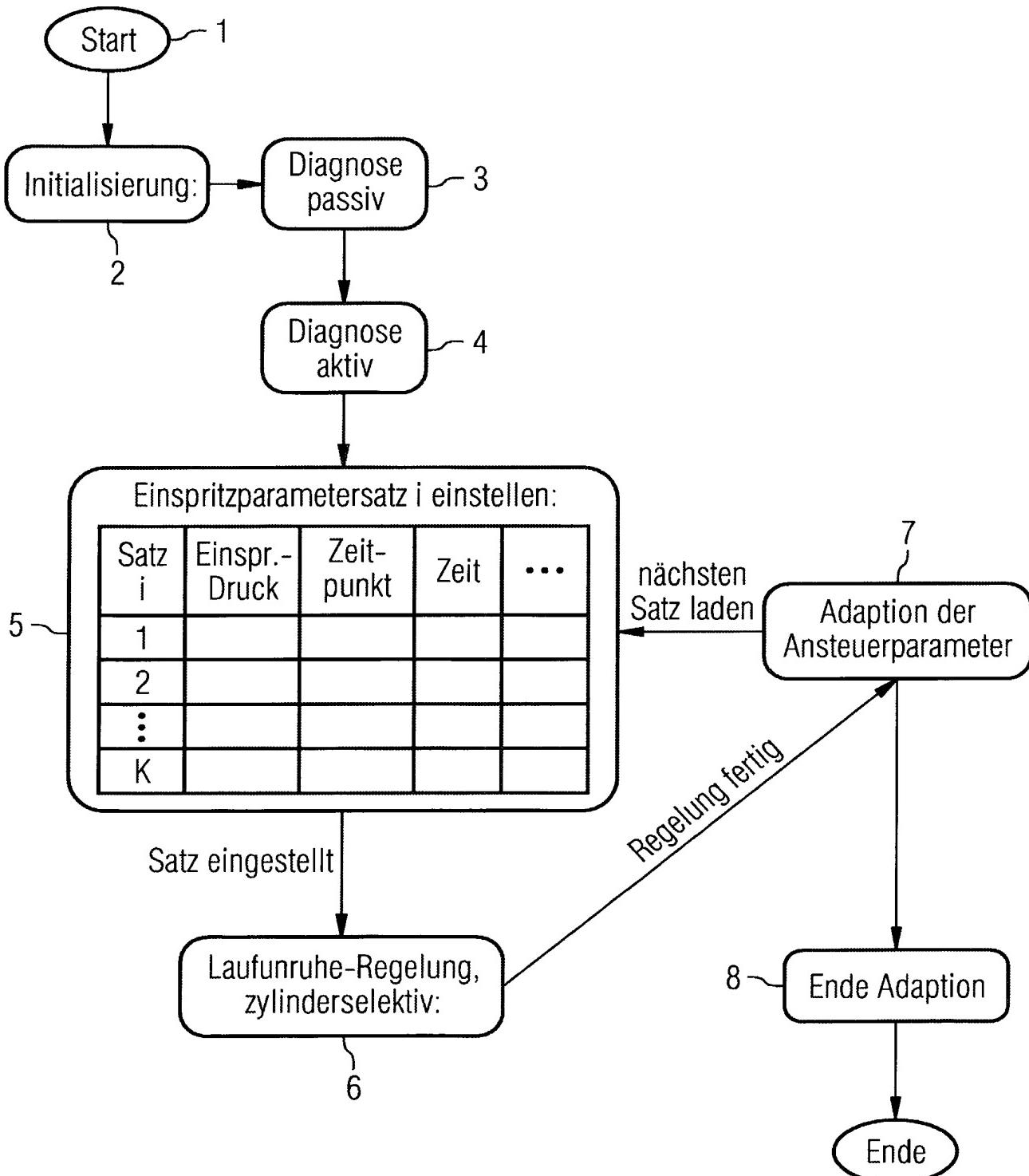
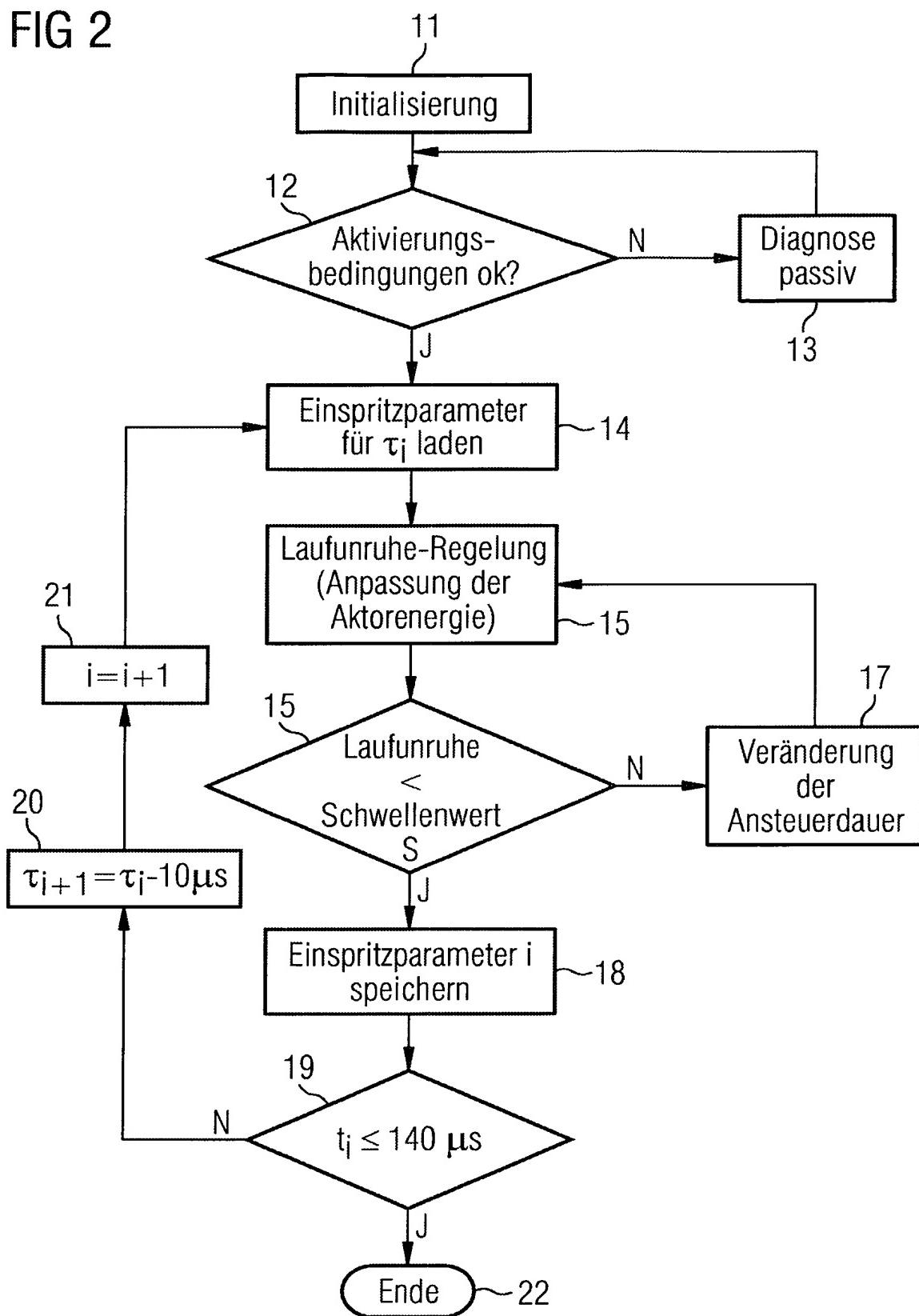


FIG 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/050428

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 F02D41/34 F02D41/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 01, 31 January 2000 (2000-01-31) & JP 11 280530 A (FEV MOTORENTECHNIK GMBH & CO KG), 12 October 1999 (1999-10-12) abstract ----- DE 198 55 939 A1 (FEV MOTORENTECHNIK GMBH & CO. KG, 52078 AACHEN, DE) 24 June 1999 (1999-06-24) column 2, line 14 - column 3, line 56 column 5, line 37 - column 6, line 1 ----- DE 100 12 025 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 18 October 2001 (2001-10-18) paragraphs '0004!, '0005!, '0013!, '0023! ----- -/-	1,2,8,9  1,2,8,9  1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 April 2005

Date of mailing of the international search report

18/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pileri, P

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/050428

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 667 634 A (MATSUMURA ET AL) 26 May 1987 (1987-05-26) column 2, line 33 – line 45 column 7, line 13 – line 30 column 8, line 25 – line 41 -----	1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/050428

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
JP 11280530	A	12-10-1999	DE	19855939 A1		24-06-1999
DE 19855939	A1	24-06-1999	JP	11280530 A		12-10-1999
DE 10012025	A1	18-10-2001	AU	3914501 A		24-09-2001
			CN	1364216 A		14-08-2002
			WO	0169066 A1		20-09-2001
			DE	10190969 D2		20-06-2002
			DE	50101962 D1		19-05-2004
			EP	1179130 A1		13-02-2002
			JP	2003527527 T		16-09-2003
			MX	PA01011465 A		30-08-2002
US 4667634	A	26-05-1987	JP	1920486 C		07-04-1995
			JP	6050077 B		29-06-1994
			JP	61046444 A		06-03-1986

## INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050428

**A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
**IPK 7 F02D41/34 F02D41/14**

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
**IPK 7 F02D**

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**EPO-Internal, PAJ****C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2000, Nr. 01, 31. Januar 2000 (2000-01-31) & JP 11 280530 A (FEV MOTORENTECHNIK GMBH & CO KG), 12. Oktober 1999 (1999-10-12) Zusammenfassung -----	1,2,8,9
X	DE 198 55 939 A1 (FEV MOTORENTECHNIK GMBH & CO. KG, 52078 AACHEN, DE) 24. Juni 1999 (1999-06-24) Spalte 2, Zeile 14 – Spalte 3, Zeile 56 Spalte 5, Zeile 37 – Spalte 6, Zeile 1 -----	1,2,8,9
A	DE 100 12 025 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 18. Oktober 2001 (2001-10-18) Absätze '0004!, '0005!, '0013!, '0023! ----- -/-	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :  
 "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11. April 2005 | 18/04/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Pileri, P

## INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050428

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 667 634 A (MATSUMURA ET AL) 26. Mai 1987 (1987-05-26) Spalte 2, Zeile 33 – Zeile 45 Spalte 7, Zeile 13 – Zeile 30 Spalte 8, Zeile 25 – Zeile 41 -----	1

## INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050428

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 11280530	A	12-10-1999	DE	19855939 A1		24-06-1999
DE 19855939	A1	24-06-1999	JP	11280530 A		12-10-1999
DE 10012025	A1	18-10-2001	AU CN WO DE DE EP JP MX	3914501 A 1364216 A 0169066 A1 10190969 D2 50101962 D1 1179130 A1 2003527527 T PA01011465 A		24-09-2001 14-08-2002 20-09-2001 20-06-2002 19-05-2004 13-02-2002 16-09-2003 30-08-2002
US 4667634	A	26-05-1987	JP JP JP	1920486 C 6050077 B 61046444 A		07-04-1995 29-06-1994 06-03-1986